เรื่องน่ารู้

สมชาย จิตตปาลกุล

CDMA ในระบบเซลลูล่าร์

การคิดหาวิธีที่จะเพิ่มประสิทธิภาพในการใช้ทรัพยากรความถี่ให้คุ้มค่ามากที่สุด โดยคุณภาพของบริการไม่แย่ลง CDMA จึงเกิดขึ้น

ทรัพยากรความถี่ที่ใช้ในการติดต่อสื่อสารโทรคมนาคมมีจำกัด ในขณะที่จำนวน users มากขึ้นเรื่อย ๆ จึงมีการคิดหาวิธีที่จะเพิ่มประสิทธิภาพในการใช้ทรัพยากรความถี่ให้คุ้มค่ามากที่สุด โดยคุณภาพของบริการไม่แย่ลง

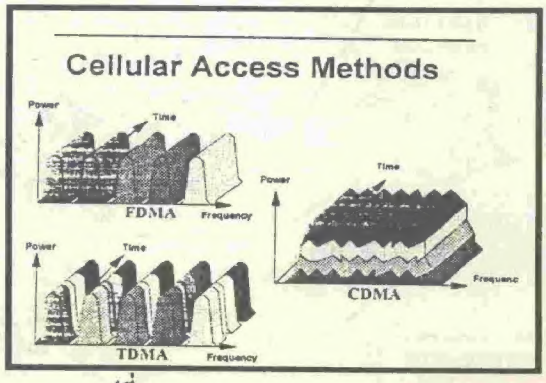
ระบบเซลลูล่าร์แบบอะนาล็อกในปัจจุบันใช้ระบบการแบ่งช่องสัญญาณที่มีแบนด์วิดธ์ของแต่ละช่องเป็น 30 KHz ซึ่งเรียกว่า FDMA (Frequency Division Multiple Access) ระบบเซลลูล่าร์แบบ FDMA จะใช้ directive antenna โดยการแบ่งเซลล์ออกเป็น 3 เซกเตอร์ (sectored cell) และการวางแผนใช้ความถี่ซ้ำอีก (frequency reuse planning) เพื่อให้เกิดความจุ (capacity) สูงสุด

เท่านั้นยังไม่พอ ยังมีการคิดค้นระบบ TDMA (Time Division Multiple Access) แบบดิจิตอล ซึ่งคล้าย FDMA เพียงแต่เพิ่มเทคนิคการแบ่งทางเวลา (time sharing) โดยในแต่ละช่องสัญญาณแต่เดิม (FDMA) ที่จะใช้ user ได้เพียง 1 คน ก็จะใช้ user ได้มากขึ้นตามจำนวน time slots ในแต่ละช่องสัญญาณ เป็นการเพิ่มความจุให้มากขึ้นตามจำนวน time slots ที่แบ่ง

จะเห็นได้ว่า TDMA เป็นเทคนิคที่ช่วยเพิ่มค่า capacity ได้มากกว่า FDMA

สำหรับเทคนิคแบบ CDMA (Code Division Multiple Access) จะแตกต่างจาก 2 แบบแรกคือ มีแบนด์วิดธ์ 1.25 MHz ซึ่งกว้างกว่า 2 แบบแรกที่มีค่าแบนด์วิดธ์ของแต่ละช่องสัญญาณ 30 KHz จะเห็นได้จากรูปที่ 1

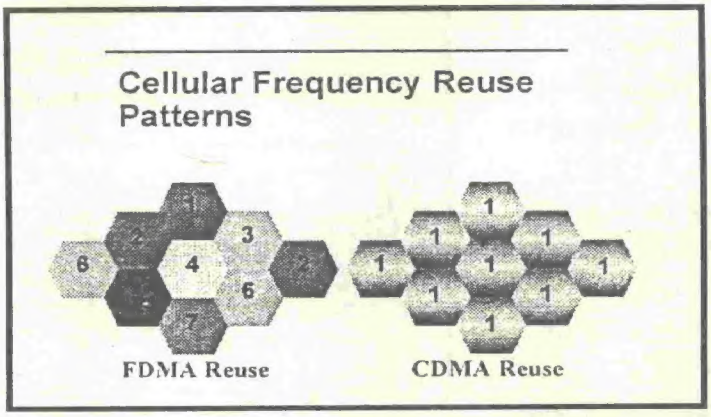
ข้อแตกต่างอีกประการหนึ่งที่สำคัญคือ ถึงแม้ CDMA ยังคงใช้วิธีแบ่งเซลล์ออกเป็น 3 เซกเตอร์ (sectored cell) เหมือน 2 แบบแรก แต่ 2 แบบแรกนั้นเซลล์ที่อยู่ติดกันจะใช้ความถี่เดียวกันไม่ได้ เพราะจะรบกวนกัน ในขณะที่ CDMA ใช้ได้ จะเห็นได้จากรูปที่ 2



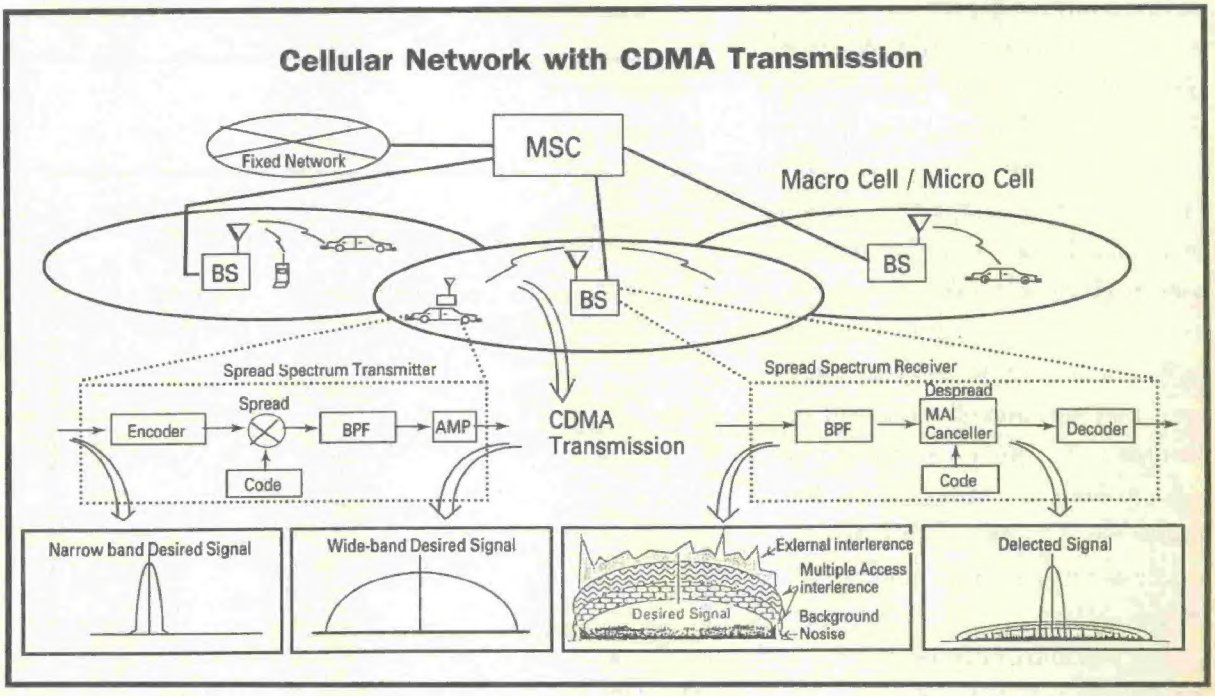
รูปที่ 1

สาเหตุที่ CDMA ใช้ความถี่ที่เหมือนกันในเซลล์ที่ติดกันได้เพราะเทคนิค CDMA ใช้โค้ดเป็นตัวแยกแยะความแตกต่างของแต่ละ user แสดงให้เห็นว่า CDMA มีการใช้ความถี่ได้คุ้มค่าประหยัดดี

เพื่อที่จะให้เข้าใจว่าการใช้รหัส (code) สามารถต้านทานสัญญาณรบกวนจากเซลล์ข้างเคียงที่ใช้ความถี่เดียวกันได้ จะสมมติว่าในงานปาร์ตี้งานหนึ่ง ท่านกำลังคุยกับเพื่อนของท่านอยู่และมีคนข้างเคียงพูดคุยส่งเสียงจำนวนหนึ่ง ทั้งหมดเป็นคนไทย ซึ่งท่านยังพอคุยกับเพื่อนท่านรู้เรื่อง แต่เมื่อจำนวนคนมากขึ้นเรื่อย ๆ ท่านจะรู้สึกว่ามีเสียงรบกวนมากขึ้น เริ่มจะไม่รู้เรื่อง แต่ถ้าสมมติว่าแต่ละคนในงานปาร์ตี้นั้นเป็นคนต่างชาติยกเว้นท่านและเพื่อนท่านที่เป็นคนไทย ท่านจะรู้สึกว่าจำนวนคนต่างชาติที่เพิ่มขึ้นจะมีผลรบกวนการพูดคุยของท่านกับเพื่อนน้อยกว่า นั่นหมายถึงภาษาที่แตกต่างกันของแต่ละคนจะช่วยแยกแยะและต้านทานต่อเสียงรบกวนได้ดี



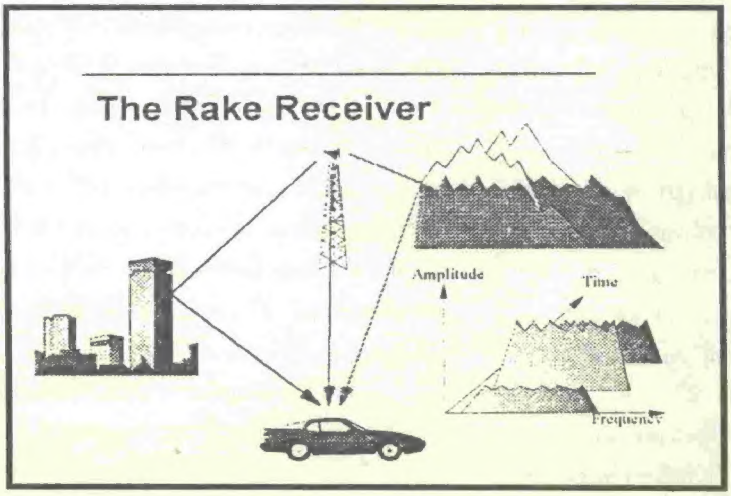
รูปที่ 2



รูปที่ 3

เทคนิค CDMA ถูกออกแบบให้สามารถถอดรหัสสัญญาณที่เหมาะสมในสภาวะที่มีสัญญาณรบกวนสูง ๆ ได้

จากรูปที่ 3 เริ่มจากสัญญาณความถี่แคบ (narrowband) ถูกเข้ารหัสพิเศษเฉพาะและทำให้แบนด์วิดธ์กว้างขึ้น (wide band) โดยการ modulate เข้ากับ carrier (pseudo random wiide band signal) หลังจากนั้นสัญญาณความถี่กว้างดังกล่าวจะถูกส่งไปยัง Base Station (BS) โดยสัญญาณที่รับได้ที่ BS จะมีสัญญาณรบกวนจาก uers ในเซลล์เดียวกันและจากเซลล์ข้างเคียง (วงรีคือ 1เซลล์) รวมทั้ง background



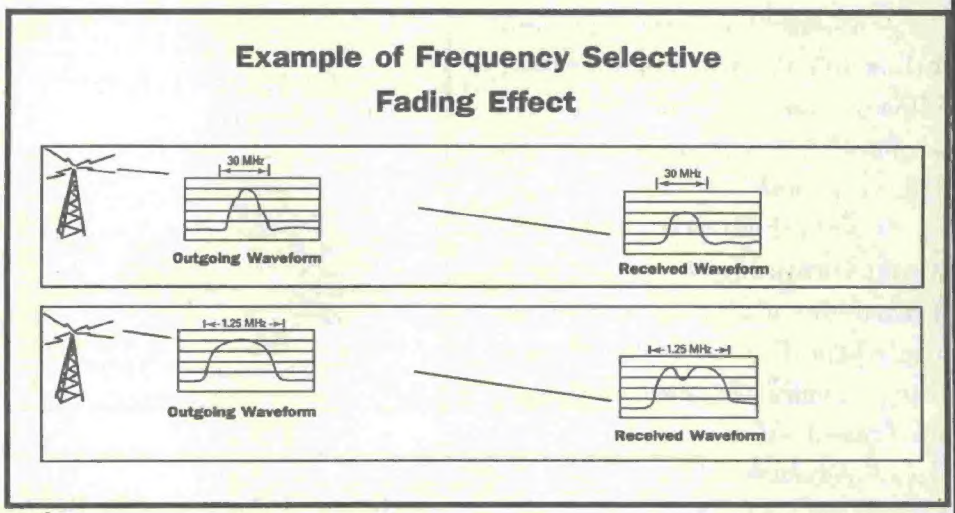
รูปที่ 4

noise และสัญญาณแปลกปลอมอื่น ๆ แต่ไม่เป็นปัญหา เพราะที่ BS มีขบวนการถอดรหัสสัญญาณที่ต้องการออกจากสัญญาณรบกวนอื่น ๆ ได้

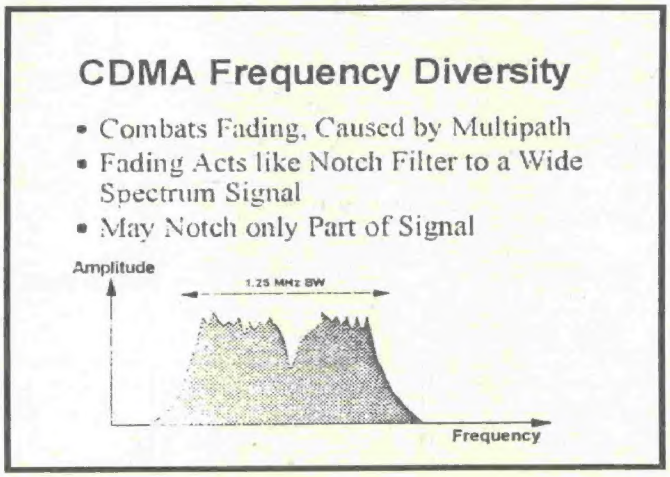
ผลจากการส่งสัญญาณเป็นแบบ spread spectrum (ช่วงความถี่กว้าง) จะช่วยแก้ปัญหาการเจือจาง (fading) ของสัญญาณซึ่งเกิดจากการสะท้อนของคลื่นสัญญาณกับตึกสูง ภูเขา ดังรูปที่ 4, 5 และ 6

กรณีสัญญาณที่ส่งแบบ narrowband จะได้รับผลกระทบจากการที่สัญญาณมีการสะท้อนจากแหล่งต่าง ๆ ทำให้สัญญาณที่รับได้เจือจางลงไปมาก ซึ่งการเจือจาง (fading) ดังกล่าวจะมีมากน้อยขึ้นกับ time delay ของแต่ละคลื่นที่วิ่งสะท้อนมาจากแหล่งต่าง ๆ จากรูปที่ 6 รอยแหว่งเว้าแสดงให้เห็นถึงอิทธิพลของ fading ที่เกิดจากการที่คลื่นวิ่งสะท้อนมาจากแหล่งต่าง ๆ เมื่อ user เคลื่อนที่จะทำให้รอยแหว่งเว้า (notch) เคลื่อนตามไปด้วยดังรูปที่ 6 และความกว้างของ notch ขึ้นอยู่กับ time delay ของแต่ละคลื่น เช่น ถ้ามี delay ระหว่าง 2 คลื่น เป็น 1 usec ความกว้างของ notch จะประมาณ 1 MHz เนื่องจาก CDMA มีแบนด์วิดธ์ 1.25 MHz จึงได้รับผลกระทบอันเนื่องมาจาก time delay น้อยกว่า 1 usec เท่านั้น

แต่จากสภาพแวดล้อมในหลาย ๆ ที่แล้ว time delay มักจะมากกว่า 1 usec ดังนั้น notch หรือ fading ที่เกิดขึ้นจึงแคบกว่า 1 MHz ไม่มีผลกระทบกับสัญญาณมากนัก เพียงแต่ทำให้สูญเสีย power ของสัญญาณบ้างแต่ไม่ถึงกับทำให้สัญญาณรับไม่ได้เลย ดังเช่นแบบอะนาล็อกหรือ TDMA ที่ใช้การส่งสัญญาณแบบ narrow band จากรูปที่ 4 เนื่องจากในหลายสถานที่สภาพแวดล้อมเต็มไปด้วยสิ่งก่อสร้าง โอกาสที่คลื่นจะสะท้อนจากสิ่งก่อสร้างดังกล่าวมีมาก ระบบ CDMA จึงออกแบบให้ mobile มีตัวรับสัญญาณ (Rake Receiver) ได้ 3 ตัว และ Base Station มีได้ 4 ตัว ไว้สำหรับแยกรับสัญญาณที่มาจากหลายทาง (multipath) และคัดเลือกสัญญาณที่แรงที่สุด (คุณภาพของสัญญาณดี) นอกจากนี้ที่ Base Station จะมี antenna เป็นตัวรับสัญญาณ 2 ตัวเพื่อรับมือกับ fading ได้ดีขึ้น จากการที่ mobile มี Rake Receiver มีได้ 3 ตัว จึงสามารถรับสัญญาณจาก Base Station ได้พร้อมกัน 2 หรือ 3 Base Station ซึ่งมีประโยชน์ในขณะที่ Hand off



รูปที่ 5

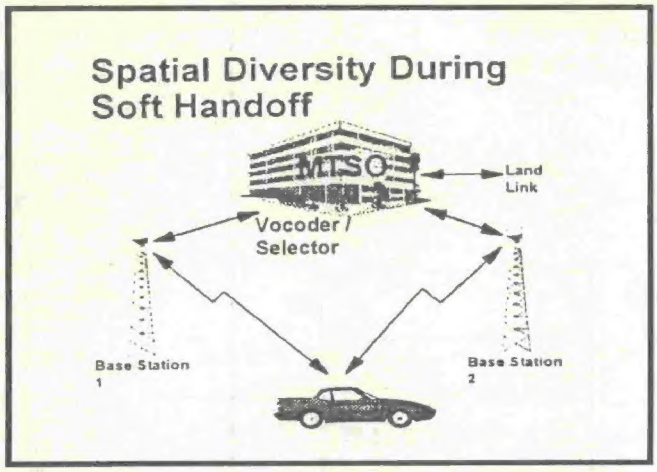


รูปที่ 6

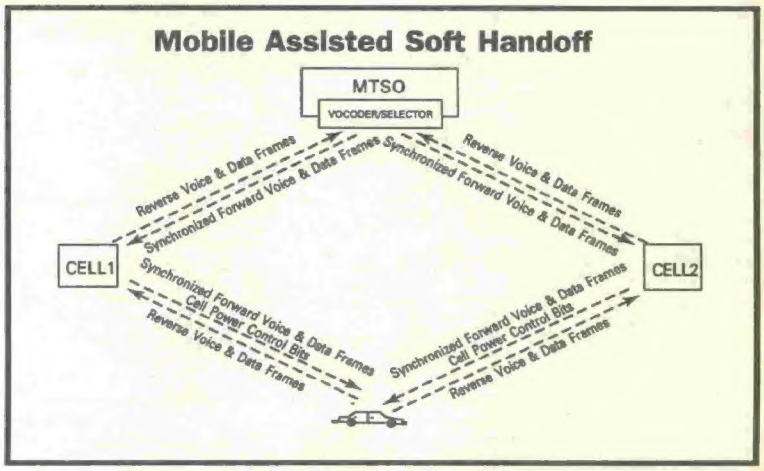
การ hand off หมายถึงการเปลี่ยนจากเซลล์หนึ่งไปอีกเซลล์หนึ่งของ mobile ซึ่งเกิดจากการที่ mobile มีการเคลื่อนที่ จึงต้องเลือกเซลล์ที่อยู่ข้างเคียงที่ mobile จะได้รับสัญญาณแรงที่สุด

ในระบบเซลลูล่าร์แบบอะนาล็อกหรือ TDMA mobile จึงจะตัดขาดจากเซลล์เดิมก่อนแล้วจึงค่อยต่อกับเซลล์ใหม่ (Break-before-make concept) ซึ่งถ้าต่อไม่ได้นั่นคือสายหลุด เป็นการ hand off ที่ไม่นุ่มนวลไม่แน่นอน (hard hand off) แต่สำหรับ CDMA mobile ต้องต่อกับเซลล์ใหม่ได้ก่อนจึงตัดขาดจากเซลล์เดิม (Make-before-break concept) หรือ soft hand off เหตุที่ CDMA ทำเช่นนี้ได้เพราะ mobile ถูกออกแบบให้มี Rake Receiver 3 ตัว นั่นคือสามารถรับสัญญาณจากเซลล์พร้อมกัน 2 ถึง 3 เซลล์

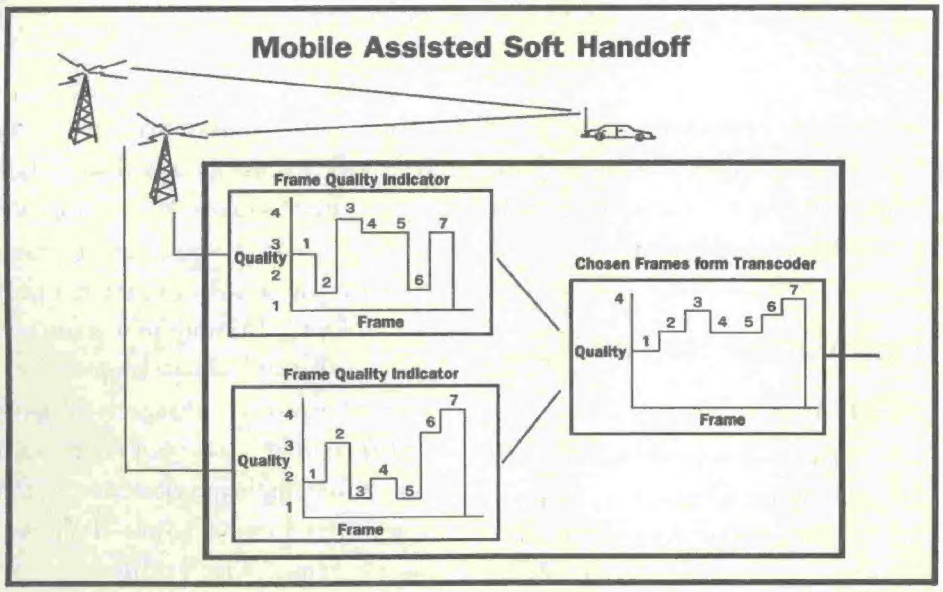
สมมติว่าขณะหนึ่ง mobile ติดต่อกับเซลล์หนึ่ง ขณะที่กำลังเคลื่อนที่ mobile ได้รับสัญญาณที่แรงมากพอจากอีกเซลล์หนึ่ง mobile ก็จะขอให้เซลล์แรกเริ่มการ hand off ด้วยเซลล์ใหม่นี้ เซลล์แรกก็จะส่งผ่านคำขอให้ hand off



รูปที่ 7



รูปที่ 8



รูปที่ 9

ของ mobile ไปยัง MTSO (Mobile Telephone Switching Office) ซึ่งติดต่ออยู่กับเซลล์ที่ 2 ด้วย ซึ่ง MTSO จะพิจารณาคัดเลือกคุณภาพของสัญญาณจากเซลล์ที่ 1 และ 2 แบบเฟรมต่อเฟรม และจะเลือกเฟรมที่ดีกว่าโดยคัดเลือกทุก ๆ 20 msec เมื่อสัญญาณจากเซลล์แรกอ่อนลง mobile จะขอให้สิ้นสุดการ hand off จากจุดนี้ mobile ถูก power control โดยเซลล์ที่ 2 และเซลล์แรกจะหยุดการส่งและรับสัญญาณจาก mobile ซึ่งขณะนี้ mobile ถูกต่อเข้ากับเซลล์ที่ 2 เท่านั้น เป็นไปตาม Make-before-break concept พิจารณาจากรูปที่ 7, 8 และ 9

ข้อดีอีกประการหนึ่งของ CDMA คือ การใช้ power control ซึ่งมีข้อดีคือ

- เพิ่ม capacity ให้ระบบสูงสุด
- เพิ่มคุณภาพของเสียงโดยการลดสัญญาณรบกวนให้เหลือน้อยที่สุด ทั้งนี้เพราะ power จากทุก ๆ mobile ที่ส่งไปยัง Base Station จะถูกควบคุมให้มีระดับเดียวกัน ซึ่งเป็นการลดสัญญาณรบกวนได้วิธีหนึ่ง เพราะถ้า power ไม่เท่ากัน สัญญาณที่มี power มากกว่าจะไปรบกวนสัญญาณที่มี power น้อยกว่าได้
- ยืดอายุแบตเตอรี

วิธีการได้แก่

1. Reverse link open loop power control
2. Reverse link closed loop power control
3. Forward link closed loop power control

Reverse link = จาก mobile ไปยัง base station

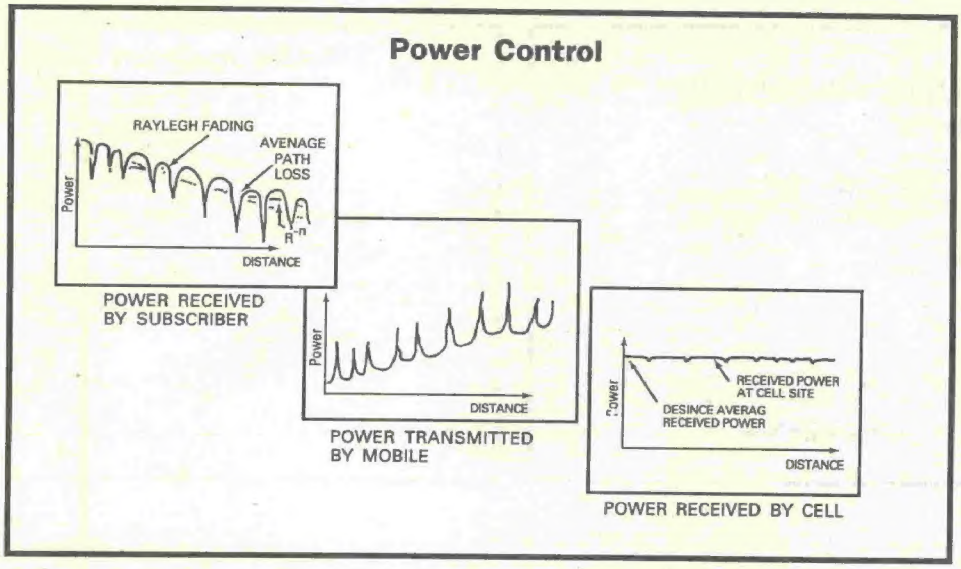
Forward link = จาก base station ไปยัง mobile

Reverse link open loop power control

ให้ผลรวมของ power ที่ได้รับและส่งของ mobile มีค่าคงที่

เช่น Received power + Transmit power = -73 dbm

และ Received power = -85 dbm



รูปที่ 10

: transmit power = +12 dbm เป็นค่าที่ mobile ควรจะส่งไปให้ Base Station ในครั้งแรกซึ่งยังมิใช่คำที่ BS ต้องการอย่างแท้จริง ต้องผ่านขั้นตอน Reverse link closed loop power control

Reverse link closed loop power control

จุดประสงค์เพื่อให้ power ที่ส่งมาจากแต่ละ mobile มีค่าเท่ากับ BS เมื่อได้รับ power จาก mobile ตามขั้นตอน Reverse link open loop power control ก็จะเปรียบเทียบกับ power ที่ต้องการว่าน้อยกว่าหรือมากกว่า ก็จะสั่งให้ mobile เพิ่มหรือลด power ครั้งละ1 dB โดยจะสั่งทุก ๆ 1.25 msec หรือ 800 ครั้งต่อวินาที จนได้ค่า power ตรงตามต้องการ ซึ่งจะทำการควบคุมเช่นนี้กับทุก ๆ mobile ดังนั้นเมื่อ power จากแต่ละ mobile มาถึง BS เท่ากัน จากรูปที่ 10 จะส่งผลให้สัญญาณรบกวนจึงลดน้อยลงมาก นอกจากนี้ power ที่เท่ากันดังกล่าวไม่สูงเกินความจำเป็น หมายความว่า power ที่ส่งจาก mobile จะถูกควบคุมแบบ real time ให้มีค่าต่ำที่สุดซึ่งยังคงทำงานได้ เป็นการประหยัด power ช่วยลดขนาดแบตเตอรีและยืดอายุการใช้งานของแบตเตอรีได้นาน ไม่เหมือนระบบอะนาล็อกที่มักสูญเสีย power โดยไม่จำเป็น แถมยังลดรังสีคลื่นที่แผ่ออกมาอันอาจเป็นอันตรายต่อสุขภาพได้

Forward link closed loop control

เป็น power ที่ส่งจาก Base Station ไปยัง mobile มีหลักการในการส่ง power คือ ส่ง power ให้น้อยลงเรื่อย ๆ จนกระทั่ง mobile รับ Frame Error Rate (FER) มากขึ้น ก็จะขอ power จาก Base Station ให้ช่วยส่ง power มามากขึ้น จนกระทั่งได้ค่า power ที่ต่ำที่สุดที่ยังคงประสิทธิภาพในการทำงานได้

Varialble rate vocoder

ช่วยเพิ่ม capacity ของระบบได้ โดยคุณภาพสัญญาณไม่ลดลง โดย capacity จะเพิ่มขึ้นในช่วงของการสนทนาที่ไม่มีการพูดคุย อัตราเร็วในการส่งข้อมูลในช่องสัญญาณมีหลายแบบ ต่ำสุดคือ 1,200 และสูงสุดคือ 9,600 bps ขึ้นอยู่กับกิจกรรมในการใช้เสียง การตัดสินใจว่าจะใช้อัตราเร็วเท่าไรจะกระทำทุก ๆ 20 msec ทั้งนี้ การพูดคุยทางโทรศัพท์โดยทั่วไปจะมีค่า Activity factor ที่ 40% (Talking 40% และ Listening 60%) capacity ของระบบจะเพิ่มขึ้นถ้า Voice activity factor ลดลงนั่นหมายถึง capacity ของระบบ CDMA สามารถยืดหยุ่นได้ขึ้นอยู่กับกิจกรรมการใช้เสียง โดยในระหว่างที่มีการพูดคุยจะมีอัตราเร็วสูงสุด 9,600 bps และระหว่างที่หยุดพูดอัตราเร็วจะเหลือ 1,200 bps ซึ่งจะเพิ่ม capacity ให้กับแต่ละช่องสัญญาณ นอกจากนี้ในขณะที่อัตราเร็วลดลง power ที่ใช้ส่งของ mobile จะลดลงด้วย ซึ่งเป็นการลดระดับสัญญาณรบกวนที่เกิดขึ้นกับ user อื่น ๆ ได้ด้วย